

Verfahren zum Ermitteln eines Istwertes einer Stellgröße, insbesondere eines Lenkwinkels

5

**Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines durch einen Aktuator eingestellten Istwertes einer Stellgröße.

10

Sie eignet sich insbesondere zur Ermittlung eines Istwertes eines Lenkwinkels an lenkbaren Rädern eines Fahrzeugs, der innerhalb einer Fahrdynamikregelung verwendet werden kann.

- 15 Einer Fahrdynamikregelung für Fahrzeuge liegt üblicherweise ein Vergleich eines durch verschiedene Fahrzeugsensoren erfassten Istverhaltens mit einem in einem Fahrzeugmodell ermittelten Sollverhalten zugrunde. Eine derartige Fahrdynamikregelung ist beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 15  
20 058 A1 beschrieben.

Das Sollverhalten des Fahrzeugs wird insbesondere in Abhängigkeit eines einen Richtungswunsch eines Fahrers repräsentierenden Lenkwinkels an den lenkbaren Rädern anhand des Fahrzeugmodells ermittelt. Bei dem in der Offenlegungsschrift DE 195 15  
25 058 A1 beschriebenen Fahrzeugmodell wird dabei der durch den Fahrer mittels einer Lenkeinrichtung des Fahrzeugs an den Rädern eingestellten Lenkwinkel als der den Richtungswunsch des Fahrers repräsentierende Lenkwinkel zugrunde gelegt. Dieser  
30 Lenkwinkel kann durch einen Lenkwinkelsensor am Lenkrad oder an den Rädern gemessen werden.

Es ist jedoch bekannt, eine durch den Fahrer eines Fahrzeugs initiierte Lenkbewegung mit einer zusätzlichen, durch einen  
35 Regler initiierten Lenkbewegung zu überlagern. Ein Lenkwinkel an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs ergibt sich dabei als Summe des durch den Fahrer kommandierten Lenkwinkels und eines

Zusatzlenkwinkels, nach dessen Maßgabe die zusätzliche Lenkbewegung ausgeführt wird.

Beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 197 51  
5 227 geht diesbezüglich eine Gierratenregelung hervor, bei welcher der Zusatzlenkwinkel in Abhängigkeit einer Gierbewegung des Fahrzeugs bestimmt wird.

10 Ferner ist es bekannt, ein Übersetzungsverhältnis zwischen dem Lenkwinkel an einer Lenkeinrichtung des Fahrzeugs, beispielsweise an einem Lenkrad, und dem Lenkwinkel der lenkbaren Räder des Fahrzeugs durch ein Einstellen eines in Abhängigkeit einer Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmten Zusatzlenkwinkels geschwindigkeitsabhängig zu verändern.

15 Bei geringer Fahrzeuggeschwindigkeit wird dabei eine sehr direkte Lenkübersetzung eingestellt, um den Lenkaufwand für den Fahrer beim Manövrieren zu minimieren, während bei hohen Geschwindigkeiten ein sehr indirektes Übersetzungsverhältnis ein-  
20 gestellt wird, um die Lenknervosität zu reduzieren.

Der Zusatzlenkwinkel wird üblicherweise mittels eines durch einen Aktuator gesteuerten Planetengetriebes eingestellt, wobei der Aktuator typischerweise als Elektromotor ausgeführt ist,  
25 dem einen Sollwert des Zusatzlenkwinkels beinhaltende Steuersignale übermittelt werden.

Die Erfindung bezieht sich nun auf das Problem, den dem Richtungswunsch des Fahrers entsprechenden Anteil des an den lenkbaren Rädern eingestellten Lenkwinkels zu ermitteln, wenn sich  
30 der mittels der Überlagerungslenkung eingestellte Lenkwinkel aus mehreren Anteilen zusammensetzt, die dem Aktuator als Sollteilwerte übermittelt werden.

35 Die verschiedenen Anteile des eingestellten Zusatzlenkwinkels sind nicht durch Sensoren messbar, bei einer ausreichend hohen Dynamik des Aktuators wird der Zusatzlenkwinkel jedoch so

schnell eingestellt, dass die Sollteilwerte oft als Istteilwerte verwendet werden können.

5 In manchen Situationen, z.B. insbesondere nach einem Starten des Fahrzeugs bei tiefen Temperaturen ist die Dynamik des Aktuators jedoch derart eingeschränkt, dass ein erheblicher zeitlicher Verzug beim Einstellen des Zusatzlenkwinkels auftritt und die Sollteilwerte nicht die jeweiligen Istteilwerte repräsentieren.

10

Es ist zwar denkbar, die Istteilwerte aus einem durch einen Lenkwinkelsensor erfassten Istsummenwert des Zusatzlenkwinkels entsprechend dem Verhältnis zwischen einem entsprechenden Sollteilwert und einem Sollsummenwert oder auf andere Weise aus  
15 den Sollwerten zu berechnen, dies berücksichtigt jedoch nicht, dass die Istteilwerte bei reduzierter Dynamik des Aktuators maßgeblich auch durch die als Gradienten bezeichneten Änderungsraten der Sollteilwerte bestimmt werden.

20 Derartige, auf der Berechnung anhand der Sollwerte basierende, Verfahren gestatten somit bei reduzierter Aktuatordynamik keine zuverlässige Bestimmung der Istteilwerte.

25 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das eine möglichst schnelle Ermittlung eines zuverlässigen Schätzwertes für die Teilistwerte auch dann ermöglicht, wenn der Aktuator eine unbekanntes Stellverhalten zeigt.

30 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 10.

35 Die Erfindung sieht dabei insbesondere vor, dass ein Verfahren zum Ermitteln eines durch einen Aktuator nach Maßgabe eines Sollwertes eingestellten Istwertes einer Stellgröße so durchgeführt wird, dass ein Teilwert eines nach Maßgabe eines aus ei-

ner Summe von Sollteilwerten bestehenden Sollsummenwertes eingestellten Istwertes in Abhängigkeit des dem Teilwert entsprechenden Sollteilwertes in einem mit wenigstens einem Parameter gebildeten Aktuatormodell geschätzt wird, wobei der Wert des  
5 Parameters anhand einer Abweichung zwischen dem Summensollwert und einem erfassten Istsummenwert der Stellgröße bestimmt wird. Erfindungsgemäß wird das Stellverhalten des Aktuators somit anhand eines Vergleichs zwischen dem Sollsummenwert und dem Istsummenwert der Stellgröße analysiert und bezüglich des Teilwertes  
10 anhand des Aktuatormodells simuliert.

Dies erlaubt es, einen sehr zuverlässigen Schätzwert für den Istteilwert zu ermitteln.

15 Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht dabei insbesondere darin, dass das Stellverhalten "online" bestimmt werden kann und somit jeweils das Aktuatorverhalten bei der Bestimmung des Schätzwertes für den Istteilwert zugrunde gelegt wird, welches zu dem Zeitpunkt einer Anforderung des  
20 Istteilwertes vorliegt.

Bevorzugte Durchführungsformen des Verfahrens zeichnen sich dadurch aus, dass der Wert des Parameters der Regelabweichung zwischen dem Sollsummenwert und dem erfassten Istsummenwert der  
25 Stellgröße anhand einer Kennlinie zugeordnet wird, in einem Modell des Aktuators bestimmt oder durch ein Parameterschätzverfahren ermittelt wird. Bei dem Parameterschätzverfahren sollte es sich dabei vorzugsweise um ein Online-Verfahren handeln.

30

Um mögliche Auswirkungen eines fehlerhaft ermittelten Schätzwertes aufgrund eines fehlerhaft bestimmten Parameters zu verringern und das Verfahren besonders sicher durchzuführen, ist es in einer vorteilhaften Durchführungsform des Verfahrens vorgesehen, den Wert für den Parameter auf ein vorgegebenes Intervall zu begrenzen.  
35

- Die Kennlinie ist im einfachsten Fall eine Sprungfunktion, die allen Werten der Regelabweichung, die kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert sind, einen einer Normaldynamik des Aktuators entsprechenden Wert des Parameters zuweist und Werten der
- 5 Regelabweichung, die größer sind als der Schwellenwert, einen Wert des Parameters zuweist, der einer reduzierten Dynamik des Aktuators entspricht. Es kann hierbei insbesondere auch eine Sprungfunktion mit Hysterese verwendet werden.
- 10 Vorzugsweise enthält die Kennlinie jedoch neben dem Bereich der Normaldynamik und dem Bereich der reduzierten Dynamik einen weiteren mittleren Bereich, mit beispielsweise einer linearen Zuordnung zwischen der Regelabweichung und dem Parameter.
- 15 Bei der Bestimmung des Wertes des Parameters anhand des Modells ist es zweckmäßig, das gleiche Aktuatormodell zu verwenden, das auch zur Ermittlung des Istteilwertes in Abhängigkeit des Sollteilwertes dient.
- 20 Dieses Aktuatormodell beschreibt vorzugsweise das dynamische Übertragungsverhalten des Aktuators und gibt den Zusammenhang zwischen einer Eingangs- und einer Ausgangsgröße wieder. Als Eingangs- und Ausgangsgrößen werden dabei zweckmäßigerweise die Soll- und Istwerte der Stellgröße betrachtet.
- 25 In Modellen wird das Übertragungsverhalten eines Aktuators typischerweise insbesondere durch Zeitkonstanten beschrieben, welche die Verzögerung beim Einstellen des Istwertes charakterisieren.
- 30 In einer besonders bevorzugten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird daher eine Zeitkonstante als Parameter des Aktuatormodells bestimmt.
- 35 Der Aktuator gelangt nach einer Übergangszeit in einen stationären Zustand, wenn sich das Eingangssignal während einer längeren Zeitspanne nicht oder nicht wesentlich ändert. Im statio-

nären Betrieb ist die Regelabweichung zwischen dem Ist- und dem Sollwert auch bei reduzierter Aktuatordynamik sehr klein.

Eine vorteilhafte Durchführungsform des Verfahrens zeichnet

5 sich daher dadurch aus, dass ein bestimmter Wert für den Parameter beibehalten wird, wenn die Änderungsrate des Sollsummenwertes und/oder des Istsummenwertes unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes liegt.

10 Eine Neuberechnung des Parameterwertes geschieht in dieser Durchführungsform vorteilhafterweise nur dann, wenn die Änderungsrate des Sollsummenwertes und/oder des Istsummenwertes den Schwellenwert überschreitet.

15 Diese Durchführungsform ist insbesondere dann bevorzugt, wenn aus dem Wert des Parameters auf die Dynamik und die Verfügbarkeit des Aktuators geschlossen werden soll, da zur Bewertung der Dynamik des Aktuators ausschließlich ein Übergangsverhalten während der Übergangszeit von Interesse ist.

20

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere vorteilhaft zur Bestimmung eines zuverlässigen Schätzwertes für den Istteilwert eines durch ein Stellglied einer Überlagerungslenkung eingestellten Lenkwinkels.

25

Es ermöglicht dabei, den dem Richtungswunsch des Fahrers entsprechenden Lenkwinkel zuverlässig zu bestimmen, der als Eingangsgröße für einen Fahrdynamikregler dient.

30 In dem Fall, in dem sich der Summenwert des Zusatzlenkwinkels aus einem Anteil zur geschwindigkeitsabhängigen Veränderung der Lenkübersetzung und wenigstens einem weiteren Anteil zur Fahrdynamikregelung zusammensetzt, wird dabei vorzugsweise der Istteilwert des Zusatzlenkwinkels bestimmt, der dem Anteil zur  
35 Veränderung der Lenkübersetzung entspricht.

Durch eine Addition dieses Istteilwertes und des von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkels ergibt sich ein geschwindigkeitsab-

hängiger Lenkwinkel, welcher als der dem Fahrerwunsch entsprechende Lenkwinkel zu interpretieren ist und welcher das Sollverhalten des Fahrzeugs bestimmt.

5 Weitere Vorteile und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich anhand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Figuren.

10 Von den Figuren zeigt

Fig. 1 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung einer Durchführungsforn des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher der Wert des Parameters anhand einer Kennlinie zugeordnet wird,  
15

Fig. 2 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung einer Durchführungsforn des Verfahrens, bei der zusätzlich die Änderungsrate des Summensollwerts berücksichtigt wird,  
20

Fig. 3 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung einer Durchführungsforn des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher der Wert des Parameters anhand eines Parameterschätzverfahrens ermittelt wird,  
25

Fig. 4 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung einer Durchführungsforn des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher der Wert des Parameters anhand eines inversen Modells ermittelt wird,  
30

Fig. 5 ein Blockdiagramm zur Veranschaulichung einer weiteren Durchführungsforn des Verfahrens, bei welcher der Wert des Parameters anhand eines Parameterschätzverfahrens ermittelt wird,  
35

Fig. 6 ein Blockdiagramm zur Veranschaulichung einer weiteren Durchführungsforn des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei

welcher der Wert des Parameters anhand eines Modells ermittelt wird,

Fig. 7 ein Blockdiagramm zur Veranschaulichung einer noch weiteren Durchführungsform des Verfahrens.

Die Erfindung stellt ein vorteilhaftes Verfahren zum Ermitteln eines Schätzwertes für einen Istteilwert einer Stellgröße bereit.

10

Eine vorteilhafte Anwendung findet das Verfahren bei der Ermittlung eines Ist-Teillenkwinkels, der durch eine Überlagerungslenkung nach Maßgabe eines aus einer Summe von Soll-Teillenkwi-

15

winkeln bestehenden Soll-Summenlenkwinkels eingestellt

Bei Fahrzeugen, bei denen eine geschwindigkeitsabhängige Änderung der Lenkübersetzung (VARI) anhand eines durch eine Überlagerungslenkung eingestellten Zusatzlenkwinkels vorgenommen

20

wird, muss das Sollverhalten des Fahrzeugs aus dem Lenkwinkel an den Rädern bestimmt werden, der dem von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkel in Verbindung mit der VARI entspricht.

Insbesondere auf der Grundlage dieses Lenkwinkels kann das

25

Sollverhalten anhand eines Fahrzeugreferenzmodells ermittelt werden. Dies geschieht durch einen Fahrzeugregler (ESP-Steuereinheit 70) der insbesondere ein sog. elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) durchführt.

30

Das ESP umfasst beispielsweise eine Gierratenregelung (GRR), bei der ein Unter- oder Übersteuern eines Fahrzeugs durch einen Vergleich einer anhand des Fahrzeugsmodells ermittelten Sollgierrate und einer durch einen Gierratensensor erfassten Istgierrate erkannt und durch geeignete Bremsen-, Motor- und/oder



Lenkeingriffe wird das Fahrzeug mit einem das Fahrverhalten korrigierenden Giermoment beaufschlagt.

5 Eine ESP-Steuereinheit und insbesondere das von diesem verwendete Fahrzeugreferenzmodell sind in der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 15 058 A1 beschrieben. Der Inhalt dieser Offenlegungsschrift soll auch Bestandteil dieser Anmeldung sein.

10 Neben der GRR kann durch den Fahrzeugregler beispielsweise auch eine Giermomentkompensation (GMK) durchgeführt werden, bei der ein Giermoment ermittelt und eingeregelt wird, das einem beispielsweise infolge unterschiedlicher Bremsleistungen an verschiedenen Rädern des Fahrzeugs entstehenden Störmoment entgegenwirkt. Bei der GMK kann das Giermoment ebenfalls durch Len-  
15 keingriffe erzeugt werden.

Werden bei einem Fahrzeug eine GRR und/oder eine GMK und eine VARI mit Lenkeingriffen durchgeführt, so ergibt sich der durch die Überlagerungslenkung an den Rädern eingestellte Summenzu-  
20 satzlenkwinkel als Summe aus dem Teilzusatzlenkwinkel der VARI, der zusammen mit dem von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkel als Eingangsgröße für die ESP-Steuereinheit 70 dient, und den Teilzusatzlenkwinkeln der GRR und/oder der GMK, die nicht in das Fahrzeugmodell einfließen sollen.

25

Die einzelnen Teilzusatzlenkwinkel liegen jedoch nur als Sollwerte vor, deren Summe von der Überlagerungslenkung eingeregelt wird, und der durch die Überlagerungslenkung bzw. den Aktuator der Überlagerungslenkung tatsächlich eingestellte Ist-  
30 Summenlenkwinkel kann aus den eingangs genannten Gründen nicht in seine den Sollteilwerten entsprechenden Anteile aufgeteilt werden.

Während bei Normaldynamik des Aktuators der Sollteilwert als Istteilwert in dem Fahrzeugmodell verwendet werden kann, ist dies bei reduzierter Dynamik nicht immer möglich.

- 5 Im Folgenden wird erläutert, wie der Ist-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI}}$  der VARI anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens geschätzt werden kann.

10 Es wird für dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung somit von einem Fahrzeug ausgegangen, bei dem der Fahrer des Fahrzeugs mittels eines Lenkrades oder einer anderen Lenkeinrichtung einen Lenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{LR,Whl}}$  an einem oder mehreren lenkbaren Rädern des Fahrzeugs einstellen kann. Die Lenkung verfügt dabei über ein Lenkgetriebe, das ein mit dem Lenkrad verbundenes Lenkritz-  
15 zel aufweist, welches in eine Zahnstange eingreift und so die Lenkbewegungen des Fahrers an die lenkbaren Räder vermittelt. Das Lenkgetriebe stellt ein Übersetzungsverhältnis  $i_{\text{LG}}$  zwischen dem Lenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{LR,Whl}}$  an den Rädern und dem Lenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{LR,SZL}}$  am Lenkrad zur Verfügung.

20

Bei dem Fahrzeug kann es sich beispielsweise um ein zweiachsiges, vierrädriges Fahrzeug mit zwei lenkbaren Vorderrädern handeln.

- 25 Ferner wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug über eine Überlagerungslenkung verfügt, die eine freie Zuordnung zwischen dem Lenkradwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{LR,SZL}}$  und dem Lenkwinkel an den Rädern ermöglicht. Dies lässt sich beispielsweise durch ein vor dem Lenkritz-  
30 zel in den Lenkstrang eingebrachtes Planetengetriebe realisieren, in das ein elektromechanischer Aktuator eingreift, um das Lenkritz-  
zel gegenüber dem Lenkrad zu verdrehen.

Die Überlagerungslenkung gestattet es damit, sowohl die Lenkübersetzung zu verändern, als auch Zusatzlenkwinkel zu

stellen, wobei sich der Lenkwinkel an dem Lenkritzel als Summe aus dem durch das Getriebe der Überlagerungslenkung übersetzten Lenkradwinkel und dem Zusatzlenkwinkel ergibt.

- 5 Das Getriebe der Überlagerungslenkung wird im Folgenden als AFS-Getriebe bezeichnet und stellt eine mechanische Lenkübersetzung  $i_{AFS}$  zur Verfügung.

- 10 Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass für das Fahrzeug eine GRR und eine GMK anhand von Lenkeingriffen durchgeführt und eine VARI vorgenommen wird. Durch die Regeleinheiten zur Durchführung der GRR und der GMK wird dabei jeweils ein Soll-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{GRR, req}$  bzw.  $\ddot{\alpha}_{GMK, req}$  vorgegeben, der durch den Aktuator der Überlagerungslenkung eingestellt wird. Die
- 15 Steuereinheit zur VARI gibt den einzustellenden Soll-Teillenk-  
winkel  $\ddot{\alpha}_{VARI, req}$  vor, der in Abhängigkeit des von dem Fahrer ein-  
gestellten Ist-Lenkradwinkels  $\ddot{\alpha}_{LR, SZL}$  bestimmt und an den Aktua-  
tor übermittelt wird, welcher daraufhin den Teilzusatzlenkwinkel der VARI einstellt. Es gilt dabei

20 
$$\ddot{\alpha}_{VARI, req} = \ddot{\alpha}_{LR, SZL} + \ddot{\alpha}_{VARI, req},$$

wobei  $\ddot{\alpha}_{VARI, req}$  den Soll-Teilzusatzlenkwinkel der VARI bezeichnet.

- 25 Die von den Regel- bzw. Steuereinheiten vorgegebenen Solllenk-  
winkel beziehen sich dabei auf Winkel an den lenkbaren Rädern,  
können jedoch anhand des bekannten Übertragungsverhaltens des  
Lenkgetriebes auf das Lenkritzel bezogen werden.

- 30 Der am Rad einzustellende Soll-Summenlenkwinkel ergibt sich als  
die Summe  $\ddot{\alpha}_{SUM, req}/i_{LG} = \ddot{\alpha}_{VARI, req} + \ddot{\alpha}_{GRR, req} + \ddot{\alpha}_{GMK, req}$ , wobei  $\ddot{\alpha}_{SUM, req}$   
den Soll-Summenlenkwinkel am Lenkritzel bezeichnet.

Es wird ebenfalls davon ausgegangen, dass das Fahrzeug mit einem Fahrdynamikregler und insbesondere mit einer ESP-Steuer-

einheit 70 beispielsweise zur Durchführung der GRR ausgerüstet ist, die Stellgrößen in Abhängigkeit der Abweichung zwischen einem erfassten Istwert einer Fahrzustandsgröße und einem anhand eines Fahrzeugsreferenzmodells berechneten Sollwert ermittelt. Zur Berechnung des Sollwertes benötigt die ESP-Steuer-  
5 einheit den Istwert des dem Fahrerwunsch entsprechenden Lenkwinkels, als welcher, wie erläutert, hier der Ist-Teillenkwinkel  $\ddot{a}_{VARI}$  der VARI anzusehen ist.

10 Das Blockdiagramm in der Figur 1 veranschaulicht eine mögliche Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, das zur Bestimmung eines Schätzwertes  $\tilde{\delta}_{VARI}$  für den Istwert  $\ddot{a}_{VARI}$  des Ist-Teillenk winkels benutzt werden kann.

15 Als Eingangsgrößen für das Verfahren dienen der durch einen Lenkradwinkelsensor erfasste Ist-Lenkradwinkel  $\ddot{a}_{LR, SZL}$  am Lenkrad, der Soll-Teillenk Winkel  $\ddot{a}_{VARI, req}$  der VARI, bezogen auf die lenkbaren Räder, der Soll-Teilzusatzwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{GRR, req}$  der GRR an den Rädern, der Soll-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{GMK, req}$  der GMK an  
20 den Rädern und der Ist-Summenzusatzlenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS}$  der Überlagerungslenkung am Lenkritz el.

Die Lenkwinkel  $\ddot{a}_{VARI, req}$ ,  $\ddot{A}\ddot{a}_{GRR, req}$  und  $\ddot{A}\ddot{a}_{GMK, req}$  können dabei direkt von den entsprechenden Steuergeräten übermittelt werden. Der  
25 Lenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS}$  kann als Differenz zwischen dem auf das Lenkritz el bezogenen Ist-Lenkradwinkel  $\ddot{a}_{LR, Ritzel} = i_{AFS} \cdot \ddot{a}_{LR, SZL}$  und dem durch einen Winkelsensor erfassbaren Ist-Summenlenkwinkel  $\ddot{a}_{SUM, Ritzel}$  am Lenkritz el bestimmt werden oder er wird in der Recheneinheit der Überlagerungslenkung direkt aus dem Motorlage-  
30 winkelsensor der Überlagerungslenkung bestimmt.

Der Ist-Lenkradwinkel  $\ddot{a}_{LR, SZL}$  am Lenkrad wird zur Durchführung des Verfahrens zunächst, wie es anhand des Blocks 10 veranschaulicht ist, in den Ist-Lenkradwinkel  $\ddot{a}_{LR, Ritzel}$  am Lenkritz el

überführt. Dies geschieht durch einfache Multiplikation von  $\ddot{a}_{LR, SZL}$  mit dem bekannten mechanischen Übersetzungsverhältnis  $i_{AFS}$  des AFS-Getriebes an der Multiplikationsstelle 10.

- 5 Eine weitere Multiplikation, veranschaulicht in Block 30, von  $\ddot{a}_{LR, Ritzel}$  mit dem Inversen der Lenkgetriebeübersetzung  $i_{LG}$  liefert den Ist-Lenkradwinkel  $\ddot{a}_{LR, Whl} = \ddot{a}_{LR, Ritzel} \cdot 1/i_{LG}$  an den lenkbaren Rädern, wobei das Übertragungsverhalten des Lenkgetriebes zu berücksichtigen ist, wie in Block 20 gezeigt. Dies geschieht anhand der bekannten Übertragungskennlinie des Lenkgetriebes.
- 10

- Die Lenkwinkel  $\ddot{a}_{VARI, req}$ ,  $\ddot{A}\ddot{a}_{GRR, req}$  und  $\ddot{A}\ddot{a}_{GMK, req}$  werden zunächst in dem Block 80 addiert, so dass der Soll-Summenlenkwinkel am Rad erhalten wird. Durch Multiplikation mit der Übersetzung  $i_{LG}$  des Lenkgetriebes, wie durch Block 100 dargestellt, lässt sich dann der Soll-Summenlenkwinkel  $\ddot{a}_{SUM, req}$  am Lenkritzel berechnen. Dabei ist wiederum, wie anhand von Block 90 angedeutet, das Übertragungsverhalten des Lenkgetriebes, insbesondere die inverse Übertragungskennlinie, zu berücksichtigen.
- 15

- 20 Differenzbildung zwischen  $\ddot{a}_{SUM, req}$  und  $\ddot{a}_{LR, Ritzel}$  an der Subtraktionsstelle 110 liefert den Soll-Summenzusatzlenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS, req}$  der Überlagerungslenkung am Lenkritzel, der mit dem Ist-Summenzusatzlenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS}$  verglichen wird, um die Regelabweichung  $\ddot{a}_{\delta, AFS}$  für den durch die Überlagerungslenkung einzustellenden Summenlenkwinkel zu ermitteln. Dies geschieht mittels Subtraktion, wie es anhand der Subtraktionsstelle 120 dargestellt ist.
- 25

- 30 Die derart ermittelte Regelabweichung  $\ddot{a}_{\delta, AFS}$  des Summenzusatzlenkwinkels wird erfindungsgemäß dazu genutzt, eine Zeitkonstante  $T_{AFS}$  eines Modells des das AFS-Getriebe steuernden Aktuators zu ermitteln.

Bei dem Aktuator handelt es sich um einen Elektromotor, der typischerweise ein PT<sub>2</sub>-Übertragungsverhalten aufweist, das für verzögernde und schwingungsfähige Stellglieder charakteristisch ist.

5

Der Aktuator des AFS-Getriebes darf jedoch beim Einstellen eines vorgegebenen Summenzusatzlenkwinkels nicht überschwingen, da sonst fatale Auswirkungen auf das Fahrverhalten zu erwarten wären.

10

In einer sehr guten Näherung kann daher von einem PT<sub>1</sub>-Übertragungsverhalten des Aktuators ausgegangen werden, so dass sich seine Übertragungsfunktion als

$$G(s) = \frac{k}{1 + T_{\text{AFS}} \cdot s}$$

15 angeben lässt, wobei hier ein Verstärkungsfaktor von  $k = 1$  zugrunde gelegt werden kann.

Die Übergangsfunktion des Aktuators ist somit

$$h(t) = 1 - e^{-t/T_{\text{AFS}}}.$$

20

Sie ist schematisch in Block 50 angegeben, durch den ein Schätzwert  $\Delta\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$  für den Ist-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI}}$  der VARI anhand des PT<sub>1</sub>-Modells unter Zugrundelegung eines Schätzwertes  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  für die Zeitkonstante  $T_{\text{AFS}}$  des Modells ermittelt

25

wird.

Als Eingangsgröße für den Block 50 dient dabei der Soll-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI, req}}$  der VARI am Rad, der durch Subtraktion des Ist-Lenkradwinkels  $\ddot{\alpha}_{\text{LR, Whl}}$  am Rad von dem Soll-Teillenk-  
30 Teillenk-  
winkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI, req}}$  am Rad an der Subtraktionsstelle 40 erhalten wird.

Es kann hier der auf das Rad bezogene Lenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI, req}}$  als Eingangsgröße verwendet werden, da lediglich eine Modellierung des Stellverhaltens des das AFS-Getriebe steuernden Aktuators und nicht des AFS-Getriebes selbst vorgenommen wird.

5

Es könnten jedoch ebenfalls auf das Lenkritzell oder das Lenkrad bezogene Soll-Teilzusatzlenkwinkel als Eingangsgrößen für den Block 50 genutzt werden. Die dargestellte Durchführungsform hat jedoch den Vorteil, dass die Ausgangsgröße  $\Delta\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$ , ebenso wie  
10 der gesuchte Ist-Teillenkswinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI}}$  der VARI, auf das Rad bezogen ist. Unnötige Umrechnungen zwischen verschiedenen Bezugspunkten werden somit vermieden.

Als Ausgangsgröße des gesamten Verfahrens ist ein Schätzwert  
15  $\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$  für den Ist-Teillenkswinkel  $\ddot{\alpha}_{\text{VARI}}$  der VARI zu ermitteln. Dies geschieht durch Addition des durch den Block 50 berechneten geschätzten Ist-Teilzusatzlenkwinkel  $\Delta\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$  und des Ist-Lenkradwinkels  $\ddot{\alpha}_{\text{LR, Whl}}$  am Rad an der Additionsstelle 60.

20 Der Lenkwinkel  $\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$  ist ein Schätzwert für den Fahrerlenkwunsch  $\ddot{\alpha}_{\text{DRV, req}}$ , der in das von dem ESP-Steuergerät 70 zur Bestimmung des Fahrzeugsollverhaltens verwendete Fahrzeugreferenzmodell eingeht.

25 Von dem ESP-Steuergerät 70 wird dabei vorzugsweise ein Einspurmodell genutzt. Verschiedene Funktionen des Steuergerätes 70 sowie verschiedene Konzepte für eine Fahrdynamikregelung und insbesondere das Referenzmodell sind beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 15 058 A1 näher beschrieben.  
30 Auf deren Inhalt wird an dieser Stelle vollumfänglich verwiesen.

Als maßgeblichen Eingangsparameter erhält der Block 50 den Schätzwert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  für die Zeitkonstante  $T_{\text{AFS}}$  des AFS-Aktuators.

- 5 Dieser wird bei der in der Figur 1 dargestellten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens in Schritten bestimmt, die anhand der Blöcke 130, 140 und 150 veranschaulicht werden.

- 10 Dabei wird zunächst der Betrag  $|\epsilon_{\delta, \text{AFS}}|$  der an der Subtraktionsstelle 120 gebildeten Regelabweichung  $\dot{\alpha}_{\delta, \text{AFS}}$  berechnet, wie es in Block 130 dargestellt ist.

- Es ist festzustellen, dass sich die Dynamik des Aktuators nur relativ langsam in Abhängigkeit der die Dynamik beeinflussenden  
15 Größen - wie zum Beispiel die Temperatur - verändert.

- Daher wird das Signal  $|\epsilon_{\delta, \text{AFS}}|$  durch ein Tiefpassfilter 140 gefiltert, so dass sich bei sprunghaften Veränderungen des Wertes  $\dot{\alpha}_{\delta, \text{AFS}}$  aufgrund einer sprunghaft ansteigenden Zusatzlenkwinkelanforderung keine ebenso sprunghafte und unrealistische Veränderung der geschätzten Zeitkonstanten  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  ergibt.  
20

- Die Schätzung von  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  wird bei der in der Figur 1 dargestellten Durchführungsform anhand einer Kennlinie durchgeführt, die jedem gefilterten Wert  $|\tilde{\epsilon}_{\delta, \text{AFS}}|$  des Betrages  $|\epsilon_{\delta, \text{AFS}}|$  einen Wert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  zuordnet, wie es durch Block 150 dargestellt wird.  
25

- Im einfachsten Fall kann die Kennlinie dabei als Stufenfunktion angesetzt werden, die jedem Wert  $|\tilde{\epsilon}_{\delta, \text{AFS}}|$ , der kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert ist, einen die Normaldynamik des Aktuators repräsentierenden kleinen Wert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  und jedem oberhalb des Schwellenwertes liegenden Wert  $|\tilde{\epsilon}_{\delta, \text{AFS}}|$  einen reduzierten Dynamik modellierenden großen Wert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  zuordnet. Insbesondere  
30



kann hierbei in Kombination mit der Stufenfunktion auch eine Hysteresefunktion zum Einsatz kommen.

5 Bessere und insbesondere genauere Ergebnisse werden jedoch mit einer Kennlinie erreicht, die einen gewissen Bereich mit einem Übergangsverhalten zwischen normaler und reduzierter Dynamik aufweist. In dem Bereich kann beispielsweise eine Proportionalität zwischen  $\tilde{T}_{AFS}$  und  $|\tilde{\epsilon}_{\delta, AFS}|$  zugrunde gelegt werden, wie es bei der Kennlinie, die in dem Block 150 eingezeichnet ist, dargestellt wird.

10 Die derart bestimmte Zeitkonstante  $\tilde{T}_{AFS}$  kann einerseits als Eingangsgröße des Blocks 50 zur Berechnung des Lenkwinkels  $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}$  dienen, sie kann jedoch auch einer Einheit zum Überwachen der Aktuatordynamik zugeführt werden.

Dies ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn es vorgesehen ist, den Schätzwert  $\tilde{\delta}_{VARI}$  lediglich bei reduzierter Aktuatordynamik als Eingangsgröße für das ESP-Steuergerät 70 zu verwenden und  
20 bei Normaldynamik auf den Sollwert  $\ddot{a}_{VARI, req}$  zurückzugreifen.

Hierbei stellt sich jedoch das Problem, dass bei einem stationären Lenkverhalten des Fahrers keine Änderungen des durch den Aktuator einzustellenden Soll-Summenlenkwinkels  $\ddot{a}_{SUM, req}$  eintreten und das Übertragungsverhalten des Aktuators ebenfalls stationär wird.

In diesem Fall verschwindet die Regelabweichung  $\ddot{a}_{\delta, AFS}$  nahezu vollständig, und es wird eine Zeitkonstante  $\tilde{T}_{AFS}$  geschätzt, die  
30 der unter Umständen gar nicht vorliegenden Normaldynamik entspricht.

In einer weiteren, anhand des Blockschaltbildes in der Figur 2 veranschaulichten, Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es daher vorgesehen, die Zeitkonstante  $\tilde{T}_{AFS}$  nur  
5 dann neu zu bestimmen, wenn die Änderungsrate  $\Delta\delta_{AFS,req}$  des Soll-Summenzusatzlenkwinkels  $\ddot{\alpha}_{AFS,req}$  einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Es wäre hier auch gleichfalls möglich, eine Änderungsrate  $\Delta\delta_{AFS}$   
10 des Ist-Summenzusatzlenkwinkels  $\ddot{\alpha}_{AFS}$  mit einem Schwellenwert zu vergleichen und die Zeitkonstante  $\tilde{T}_{AFS}$  nur dann neu zu bestimmen, wenn  $\Delta\delta_{AFS}$  den Schwellenwert überschreitet.

Die Änderungsrate wird dabei durch ein Differenzierglied 160  
15 berechnet und dem Block 170 übergeben. Dieser liefert ein Ausgangssignal mit dem Wert Eins, wenn der Wert von  $\ddot{\alpha}_{AFS,req}$  den Schwellenwert überschreitet; sonst nimmt das Ausgangssignal, das dem Block 180 als Eingangssignal dient, den Wert Null an.

20 Der Block 180 ist den Blöcken 130 und 140 zwischengeschaltet und übergibt den aktuell berechneten Wert  $|\epsilon_{\delta,AFS}|$  nur dann an das Tiefpassfilter 140, wenn sein Eingangssignal den Wert Eins hat. Andernfalls wird der im letzten Zyklus an das Filter 140 übergebene Wert  $|\epsilon_{\delta,AFS}|$  wiederum übergeben, der in dem Block 190 ge-  
25 speichert wird.

Auf diese Weise ist es möglich, jederzeit die zutreffende Zeitkonstante  $\tilde{T}_{AFS}$  zu berechnen, wenn eine Anregung des Systems vorliegt. Ohne Systemanregung verharret die Schätzung auf dem  
30 zuletzt ermittelten Wert.

In den voranstehend dargelegten Durchführungsformen lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch bei relativ geringer Nutzung von Rechenleistung schnell und zuverlässig durchführen.

Mit einer höheren Rechenleistung ist es jedoch möglich, eine genauere Bestimmung der Zeitkonstanten  $T_{AFS}$  anhand von Parameterschätzverfahren mit größerer Komplexität vorzunehmen.

5

In der Figur 3 ist dies in einem weiteren Blockschaltbild dargestellt.

Ein geeignetes Parameterschätzverfahren wird dabei in dem Block  
10 200 durchgeführt, der in Abhängigkeit der Eingangssignale  $\ddot{A}_{AFS, req}$  und  $\ddot{A}_{AFS}$  einen Schätzwert  $\tilde{T}_{AFS}$  für die Zeitkonstante  $T_{AFS}$  berechnet.

Diese wird jedoch nicht direkt an den Block 50 zur Bestimmung  
15 von  $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}$  übergeben, sondern durch einen zwischengeschalteten Begrenzer 210 und ein Tiefpassfilter 220 bearbeitet.

Der Begrenzer 210 begrenzt die Werte von  $\tilde{T}_{AFS}$  auf einen Wertebereich zwischen einem Normaldynamik des Aktuators repräsentierenden Minimalwert und einem reduzierten Dynamik repräsentierenden Maximalwert.  
20

Dadurch werden möglicherweise auftretende fehlerhafte Berechnungen des Wertes  $\tilde{T}_{AFS}$  durch den Block 210 in ihrer Auswirkung  
25 begrenzt.

Das dem Begrenzer 210 nachgeschaltete Tiefpassfilter 220 hat dieselbe Funktion wie das Tiefpassfilter 140, nämlich unrealistische sprunghafte Veränderungen von  $\tilde{T}_{AFS}$  herauszufiltern.  
30

Ein besonders geeignetes Verfahren zum Schätzen der Zeitkonstante ist, in dem hier beispielhaft dargestellten Falle, ein modellbasiertes Parameterschätzverfahren, das auf dem  $PT_1$ -

Modell des AFS-Aktuators basiert, welches auch der Berechnung von  $\Delta\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$  durch den Block 50 zugrunde liegt.

Die Berechnung wird dabei mit Hilfe der das Übertragungsverhalten des Aktuators beschreibenden Differenzialgleichung durchgeführt (inverses Modell).

Unter der als gute Näherung anzusehenden Annahme, dass der AFS-Aktuator ein  $PT_1$ -Übertragungsverhalten besitzt, lautet diese Differenzialgleichung

$$\Delta\delta_{\text{AFS}} + T_{\text{AFS}} \cdot \Delta\dot{\delta}_{\text{AFS}} = \Delta\delta_{\text{AFS,req}}$$

wobei hier der Verstärkungsfaktor  $k$  bereits zu Eins gesetzt wurde.

Aus dieser Gleichung ergibt sich für die Zeitkonstante  $T_{\text{AFS}}$  der Ausdruck

$$T_{\text{AFS}} = \frac{1}{\Delta\dot{\delta}_{\text{AFS}}} \cdot [\Delta\delta_{\text{AFS,req}} - \Delta\delta_{\text{AFS}}] = \frac{\epsilon_{\delta,\text{AFS}}}{\Delta\dot{\delta}_{\text{AFS}}} \quad (*)$$

wobei alle Größen rechts des ersten Gleichheitszeichens von links bekannt sind bzw. berechnet werden können.

Anhand des Ausdrucks (\*) kann der Wert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  somit analytisch bestimmt werden, wie es bei der durch das Blockschaltbild in der Figur 4 veranschaulichten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen ist.

Die analytische Berechnung von  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  wird dabei innerhalb des Blocks 230 durchgeführt.

Analog zu der anhand der Figur 2 dargestellten Durchführungsform wird ein neuer Wert  $\tilde{T}_{\text{AFS}}$  dabei nur dann ermittelt und an den Begrenzer 210 übergeben, wenn der Betrag  $|\Delta\dot{\delta}_{\text{AFS}}|$  einen vor-

gegebenen Schwellenwert überschreitet. Anderenfalls wird dem Begrenzer 210 der zuletzt ermittelte Wert  $\tilde{T}_{AFS}$  übergeben.

5 In dieser Ausführungsform ist dabei ebenfalls der Vergleich von  $|\Delta\delta_{AFS,req}|$  mit dem Schwellenwert möglich. Dies ist hier jedoch nicht bevorzugt, da die Änderungsrate  $\Delta\delta_{AFS}$  im Gegensatz zu der Änderungsrate  $\Delta\delta_{AFS,req}$  zur Bestimmung von  $\tilde{T}_{AFS}$  genutzt wird und daher ohnehin bestimmt werden muss.

10 Bei den voranstehend beschriebenen Durchführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der geschätzte Ist-Teillenkwinkel  $\tilde{\delta}_{VARI}$  der VARI am Rad durch Addition des geschätzten Ist-Teilzusatzlenkwinkels  $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}$  und des Ist-Lenkradwinkels  $\ddot{a}_{LR,Whl}$  am Rad ermittelt.

15

Es ist jedoch gleichfalls möglich, ihn durch Subtraktion eines geschätzten Ist-Teilsummenzusatzlenkwinkels  $\Delta\tilde{\delta}_Z$ , welcher einem Schätzwert der Summe  $\ddot{A}\ddot{a}_0 = \ddot{A}\ddot{a}_{GRR} + \ddot{A}\ddot{a}_{GMK}$  der Ist-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{A}\ddot{a}_{GRR}$  und  $\ddot{A}\ddot{a}_{GMK}$  der GRR und der GMK entspricht, von dem Ist-Summenlenkwinkel  $\ddot{a}_{SUM,Whl}$  an den Rädern zu erhalten:  $\tilde{\delta}_{VARI} = \delta_{SUM,Whl} - \Delta\tilde{\delta}_Z$ .

20

In der Figur 5 ist dies in einem weiteren Blockschaltbild dargestellt, wobei in dem Block 200 wiederum ein allgemeines Parameterschätzverfahren zur Bestimmung von  $\tilde{T}_{AFS}$  durchgeführt wird.

25

Die Eingangssignale  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS}$  und  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS,req}$  werden ebenso bestimmt, wie es bei den voranstehend beschriebenen Durchführungsformen des Verfahrens vorgenommen wurde.

30

Durch Addition des Ist-Lenkradwinkels  $\ddot{a}_{LR,Ritzel}$  am Lenkritzel und des Ist-Summenzusatzlenkwinkels  $\ddot{A}\ddot{a}_{AFS}$  an der Summationsstelle 240 wird der Ist-Summenlenkwinkel  $\ddot{a}_{SUM,Ritzel}$  am Lenkritzel ermittelt, der durch Multiplikation mit der inversen Lenkgetriebe-

übersetzung  $i_{LG}$ , wie anhand der Blöcke 20 und 30 in der Figur 5 veranschaulicht, in den Ist-Summenlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{SUM,whl}$  an den Rädern überführt wird.

- 5 Als Eingangsgröße für den Block 50 dient hier der Soll-Teilsummenzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\Sigma,req}$ , der an der Summationsstelle 260 als Summe aus dem Sollteilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{GRR,req}$  der GRR und dem Soll-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{GMK,req}$  der GMK erhalten wird.
- 10 Durch den das Übertragungsverhalten des AFS-Aktuators simulierenden Block 50 wird anhand des Wertes  $\ddot{\alpha}_{\Sigma,req}$  ein Schätzwert  $\Delta\tilde{\delta}_{\Sigma}$  für den Ist-Teilsummenzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{\Sigma}$  berechnet.

Dieser wird an der Subtraktionsstelle 250 von dem Ist-

- 15 Summenlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{SUM,whl}$  abgezogen, so dass hinter der Subtraktionsstelle der gesuchte Schätzwert  $\tilde{\delta}_{VARI}$  erhalten wird, der an das ESP-Steuergerät 70 übermittelt wird.

In dem Blockschaltbild in der Figur 6 ist der Block 200 des

- 20 Blockschaltbildes in der Figur 5 durch den Block 230 ersetzt, durch den das modellbasierte Parameterschätzverfahren so durchgeführt wird, wie es im Zusammenhang der Figur 4 beschrieben wurde.

- 25 Eine noch weitere Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand des Blockschaltbildes in der Figur 7 dargestellt. In der Schaltungsanordnung entspricht es dem Blockschaltbild in der Figur 4 mit dem Unterschied, dass der Schätzwert  $\tilde{T}_{AFS}$  nicht dem Block 50, sondern der ESP-Steuereinheit 70
- 30 übergeben wird.

Durch den Block 50 wird der geschätzte Ist-Teilzusatzlenkwinkel  $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}$  aus dem Soll-Teilzusatzlenkwinkel  $\ddot{\alpha}_{VARI,req}$  anhand des Ak-

tuatormodells mit der die Normaldynamik des Aktuators repräsentierenden Zeitkonstanten  $T_{AFS}$  ermittelt.

Die Berücksichtigung einer unter Umständen reduzierten Dynamik  
5 des Aktuators geschieht innerhalb des ESP-Steuergerätes 70  
durch eine Schwellenaufweitung in der enthaltenen Regeleinheit.

Diese berechnet eine Stellgröße, wenn die Regelabweichung zwischen dem Sollwert der Fahrzustandsgröße und dem erfassten Istwert  
10 einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

In Abhängigkeit des geschätzten Wertes  $\tilde{T}_{AFS}$  für die Zeitkonstante  $T_{AFS}$  wird der Schwellenwert bei der anhand der Figur 7 veranschaulichten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens  
15 der Dynamik des Aktuators angepasst. Insbesondere wird dabei der Schwellenwert erhöht, wenn sich eine reduzierte Aktuatordynamik repräsentierender Schätzwert  $\tilde{T}_{AFS}$  ergibt.

Somit werden fehlerhafte Regeleingriffe der ESP-Steuereinheit  
20 aufgrund reduzierter Aktuatordynamik auch in dieser Durchführungsform des Verfahrens wirkungsvoll verhindert.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vorliegende Erfindung ein vorteilhaftes Verfahren schafft, das es ermöglicht,  
25 eine zuverlässige Fahrdynamikregelung mit Eingriffen in die Lenkung des Fahrzeugs auch dann durchführen zu können, wenn die Dynamik des in die Lenkung eingreifenden Aktuators eingeschränkt ist, wie es beispielsweise bei sehr tiefen Temperaturen einige Minuten nach dem Starten des Fahrzeugs der Fall sein  
30 kann.

**Bezugszeichenliste:**

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| $\ddot{\alpha}_{\text{VARI, req}}$   | Soll-Teillenkwinkel der VARI, Bezugspunkt: Rad  |
| $\ddot{\alpha}_{\text{VARI}}$        | Ist-Teillenkwinkel der VARI, Bezugspunkt: Rad   |
| $\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$       | geschätzter Ist-Teillenkwinkel der VARI, Bezugspunkt:<br>Rad  |
| $\ddot{\Delta}_{\text{VARI, req}}$   | Soll-Teilzusatzlenkwinkel der VARI, Bezugspunkt: Rad  |
| $\ddot{\Delta}_{\text{VARI}}$        | Ist-Teilzusatzlenkwinkel der VARI, Bezugspunkt: Rad   |
| $\Delta\tilde{\delta}_{\text{VARI}}$ | geschätzter Ist-Teilzusatzlenkwinkel der VARI, Bezugspunkt: Rad   |
| $\ddot{\Delta}_{\text{GRR, req}}$    | Soll-Teilzusatzlenkwinkel der GRR, Bezugspunkt: Rad   |
| $\ddot{\Delta}_{\text{GRR}}$         | Ist-Teilzusatzlenkwinkel der GRR, Bezugspunkt: Rad  |
| $\Delta\tilde{\delta}_{\text{GRR}}$  | geschätzter Ist-Teilzusatzlenkwinkel der GRR, Bezugspunkt: Rad  |
| $\ddot{\Delta}_{\text{GMK, req}}$    | Soll-Teilzusatzlenkwinkel der GMK, Bezugspunkt: Rad   |
| $\ddot{\Delta}_{\text{GMK}}$         | Ist-Teilzusatzlenkwinkel der GMK, Bezugspunkt: Rad  |
| $\Delta\tilde{\delta}_{\text{GMK}}$  | geschätzter Ist-Teilzusatzlenkwinkel der GMK, Bezugspunkt: Rad  |
| $\ddot{\alpha}_{\text{LR, SZL}}$     | Ist-Lenkradwinkel, Bezugspunkt: Lenkrad   |
| $\ddot{\alpha}_{\text{LR, Ritzel}}$  | Ist-Lenkradwinkel, Bezugspunkt: Lenkritzal  |
| $\ddot{\alpha}_{\text{LR, Whl}}$     | Ist-Lenkradwinkel, Bezugspunkt: Rad   |
| $\ddot{\alpha}_{\text{DRV, req}}$    | Eingangsgröße für das ESP- bzw. DSC-Steuergerät,<br>„Fahrerlenkwunsch,,, Bezugspunkt: Rad                       |
| $\ddot{\alpha}_{\text{SUM, req}}$    | Soll-Summenlenkwinkel, Bezugspunkt: Lenkritzal  |
| $\ddot{\alpha}_{\text{SUM, Ritzel}}$ | Ist-Summenlenkwinkel, Bezugspunkt: Lenkritzal   |
| $\ddot{\alpha}_{\text{SUM, Whl}}$    | Ist-Summenlenkwinkel, Bezugspunkt: Rad  |
| $\ddot{\Delta}_{\Sigma, req}$        | Soll-Teilsummenzusatzlenkwinkel (Summe der Soll-<br>Teilzusatzlenkwinkel der GRR und der GMK), Bezugspunkt: Rad |
| $\ddot{\Delta}_{\Sigma}$             | Ist-Teilsummenzusatzlenkwinkel (Summe der Ist-<br>Teilzusatzlenkwinkel der GRR und der GMK), Bezugspunkt: Rad   |



|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| $\Delta\tilde{\delta}_Z$           | geschätzter Ist-Teilsummenzusatzlenkwinkel (Summe der geschätzten Ist-Teilzusatzlenkwinkel der GRR und der GMK), Bezugspunkt: Rad |
| $\ddot{\alpha}_{AFS, req}$         | Soll-Summenzusatzlenkwinkel für das AFS-Getriebe, Bezugspunkt: Lenkritzel   |
| $\ddot{\alpha}_{AFS}$              | Ist-Summenzusatzlenkwinkel der durch das AFS-Getriebe eingestellt wurde, Bezugspunkt: Lenkritzel                                  |
| $\Delta\delta_{AFS, req}$          | Soll-Summenzusatzlenkwinkelgradient für das AFS-Getriebe, Bezugspunkt: Lenkritzel   |
| $\Delta\delta_{AFS}$               | Ist-Summenzusatzlenkwinkelgradient der durch das AFS-Getriebe eingestellt wurde, Bezugspunkt: Lenkritzel                          |
| $T_{AFS}$                          | Zeitkonstante des Aktuatormodells   |
| $\tilde{T}_{AFS}$                  | geschätzte Zeitkonstante des Aktuatormodells  |
| $\ddot{\alpha}_{\delta, AFS}$      | Regelabweichung des Summenzusatzlenkwinkels für das AFS-Getriebe  |
| $ \epsilon_{\delta, AFS} $         | Betrag der Regelabweichung des Summenzusatzlenkwinkels für das AFS-Getriebe   |
| $ \tilde{\epsilon}_{\delta, AFS} $ | gefilterter Betrag der Regelabweichung des Summenzusatzlenkwinkels für das AFS-Getriebe   |
| $i_{AFS}$                          | Lenkübersetzung des AFS-Getriebes   |
| $i_{LG}$                           | Mechanische Übersetzung des Lenkgetriebes   |
| 10                                 | Multiplikationsstelle   |
| 20                                 | Block mit dem Übertragungsverhalten des Lenkgetriebes   |
| 30                                 | Multiplikationsstelle   |
| 40                                 | Subtraktionsstelle  |
| 50                                 | Block mit dem modellierten Übertragungsverhalten des Aktuators  |
| 60                                 | Additionsstelle   |
| 70                                 | ESP-Steuereinheit   |
| 80                                 | Additionsstelle   |
| 90                                 | Block mit dem Übertragungsverhalten des Lenkgetriebes   |
| 100                                | Multiplikationsstelle   |
| 110                                | Subtraktionsstelle  |

|     |   |
|-----|---|
| 120 | Subtraktionsstelle  |
| 130 | Block zur Betragsbildung  |
| 140 | Tiefpassfilter  |
| 150 | Block zur Zuordnung zwischen Regelabweichung und Zeitkonstante anhand einer Kennlinie |
| 160 | Differenzierglied   |
| 170 | Logikeinheit zum Vergleichen der Regelabweichung mit einem Schwellenwert              |
| 180 | Block zur Übergabe der Regelabweichung  |
| 190 | Block zur Speicherung   |
| 200 | Block zur Durchführung eines Parameterschätzverfahrens                                |
| 210 | Begrenzer   |
| 220 | Tiefpassfilter  |
| 230 | Block zur Berechnung der Zeitkonstanten anhand eines Aktuatormodells                  |
| 240 | Additionsstelle   |
| 250 | Subtraktionsstelle  |
| 260 | Additionsstelle   |

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Ermitteln eines durch einen Aktuator nach Maßgabe eines Sollwertes eingestellten Istwertes einer Stellgröße , **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass ein Teilwert ( $\ddot{a}_{\text{VARI}}; \ddot{a}_0$ ) eines nach Maßgabe eines aus einer Summe von Sollteilwerten ( $\ddot{a}_{\text{VARI, req}}, \ddot{a}_{\text{GRR, req}}, \ddot{a}_{\text{GMK, req}}$ ) bestehenden Sollsummenwertes ( $\ddot{a}_{\text{AFS, req}}$ ) eingestellten Istwertes ( $\ddot{a}_{\text{AFS}}$ ) in Abhängigkeit des dem Teilwert ( $\ddot{a}_{\text{VARI}}; \ddot{a}_0$ ) entsprechenden Sollteilwertes ( $\ddot{a}_{\text{VARI, req}}; \ddot{a}_{0, \text{req}}$ ) in einem mit wenigstens einem Parameter ( $T_{\text{AFS}}$ ) gebildeten Aktuatormodell ermittelt wird, wobei der Wert ( $\tilde{T}_{\text{AFS}}$ ) des Parameters ( $T_{\text{AFS}}$ ) anhand einer Abweichung ( $\dot{a}_{\text{a, AFS}}$ ) zwischen dem Sollsummenwert ( $\ddot{a}_{\text{AFS, req}}$ ) und einem erfassten Istsummenwert ( $\ddot{a}_{\text{AFS}}$ ) der Stellgröße bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass der Wert ( $\tilde{T}_{\text{AFS}}$ ) des Parameters ( $T_{\text{AFS}}$ ) dem Wert der Abweichung ( $\dot{a}_{\text{a, AFS}}$ ) anhand einer Kennlinie zugeordnet wird.
3. Verfahren nach einem oder beiden der Ansprüche 1 und 2, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass der Wert ( $\tilde{T}_{\text{AFS}}$ ) des Parameters ( $T_{\text{AFS}}$ ) anhand eines Aktuatormodells oder eines Parameterschätzverfahrens ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass der Wert ( $\tilde{T}_{\text{AFS}}$ ) des Parameters ( $T_{\text{AFS}}$ ) anhand desselben Aktuatormodells bestimmt wird, wie der Teilwert ( $\ddot{a}_{\text{VARI}}; \ddot{a}_0$ ) des Istwertes ( $\ddot{a}_{\text{AFS}}$ ) der Stellgröße.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass ein Wert ( $\tilde{T}_{AFS}$ ) für den Parameter ( $T_{AFS}$ ) nur dann bestimmt wird, wenn die Änderungsrate ( $\Delta\delta_{AFS,req}$ ) des Summensollwertes ( $\ddot{A}a_{AFS,req}$ ) und/oder die Änderungsrate ( $\Delta\delta_{AFS}$ ) des Summenistwertes ( $\ddot{A}a_{AFS}$ ) einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass ein Wert ( $\tilde{T}_{AFS}$ ) für den Parameter ( $T_{AFS}$ ) beibehalten wird, wenn die Änderungsrate ( $\Delta\delta_{AFS,req}$ ) des Summensollwertes ( $\ddot{A}a_{AFS,req}$ ) und/oder die Änderungsrate ( $\Delta\delta_{AFS}$ ) des Summenistwertes ( $\ddot{A}a_{AFS}$ ) unterhalb des vorgegebenen Schwellenwertes liegt.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass der Wert ( $\tilde{T}_{AFS}$ ) des Parameters ( $T_{AFS}$ ) auf ein vorgegebenes Intervall begrenzt wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass eine Zeitkonstante ( $T_{AFS}$ ) als Parameter eines ein Übertragungsverhalten des Aktuators beschreibenden Aktuatormodells bestimmt wird.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass ein Schätzwert ( $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}; \Delta\tilde{\delta}_Z$ ) für einen Istteilwert ( $\ddot{A}a_{VARI}; \ddot{A}a_0$ ) eines durch einen Aktuator einer Überlagerungslenkung an lenkbaren Räder eines Fahrzeugs eingestellten

Lenkwinkels ( $\ddot{\alpha}_{AFS}$ ) ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass ein Schätzwert ( $\Delta\tilde{\delta}_{VARI}$ ) für einen ein Übersetzungsverhältnis einer Lenkung des Fahrzeugs geschwindigkeitsabhängig verändernden und mittels einer Überlagerungslenkung eingestellten Istteilwert ( $\ddot{\alpha}_{VARI}$ ) eines Lenkwinkels ermittelt wird.

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Ermitteln eines durch einen Aktuator nach Maßgabe eines Sollwertes eingestellten Istwertes einer Stellgröße bereit.

Das Verfahren zeichnet sich dabei dadurch aus, dass ein Teilwert eines nach Maßgabe eines aus einer Summe von Sollteilwerten bestehenden Sollsummenwertes eingestellten Istwertes in Abhängigkeit des dem Teilwert entsprechenden Sollteilwertes in einem mit wenigstens einem Parameter gebildeten Aktuatormodell ermittelt wird, wobei der Wert des Parameters anhand einer Abweichung zwischen dem Sollsummenwert und einem erfassten Istsummenwert der Stellgröße bestimmt wird.

Es eignet sich insbesondere zur Ermittlung eines Istwertes eines Lenkwinkels an lenkbaren Rädern eines Fahrzeugs, der in einem Fahrzeugreferenzmodell einer Fahrdynamikregelung verwendet werden kann.

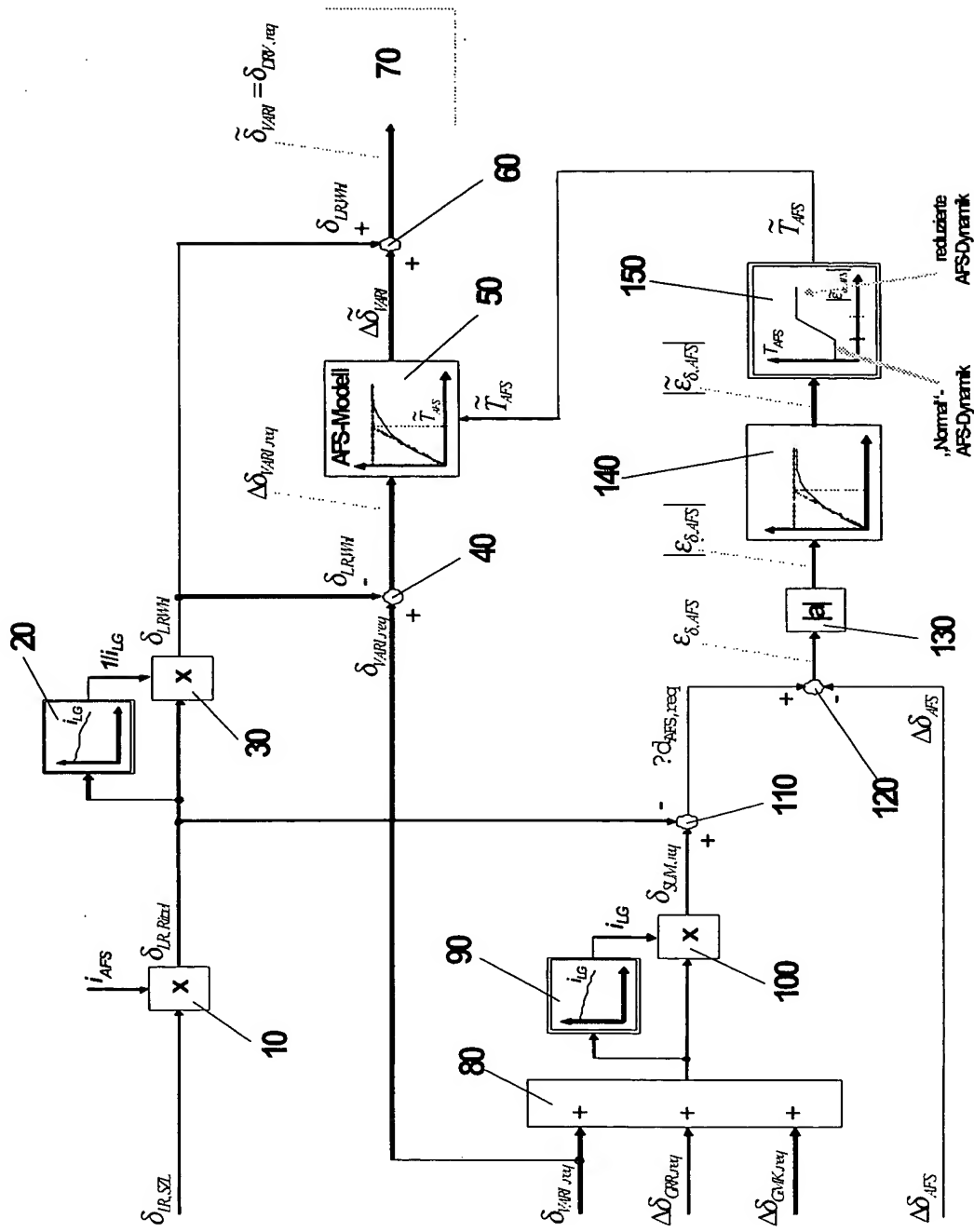


Fig. 1



**Fig. 2**



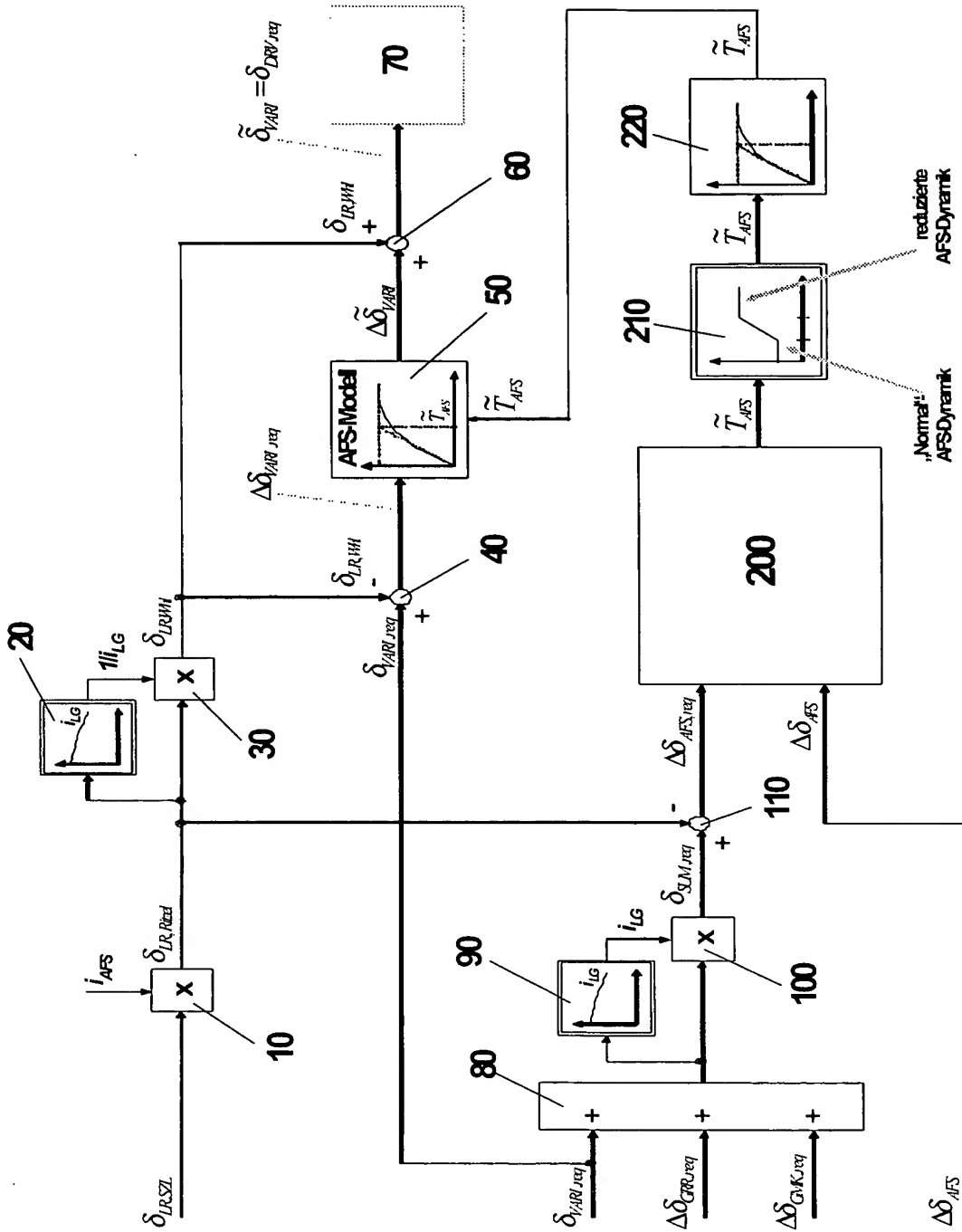


Fig. 3

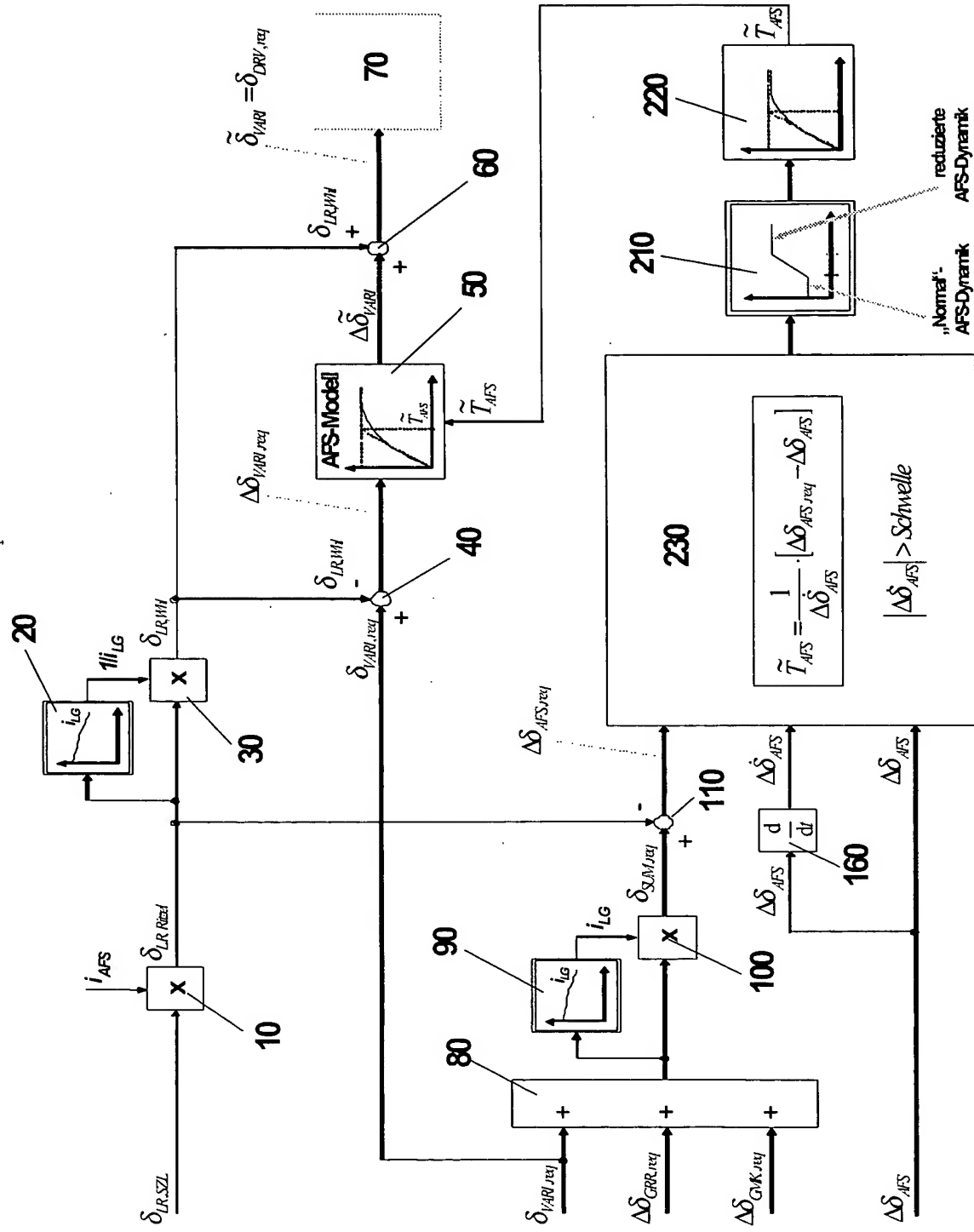


Fig. 4

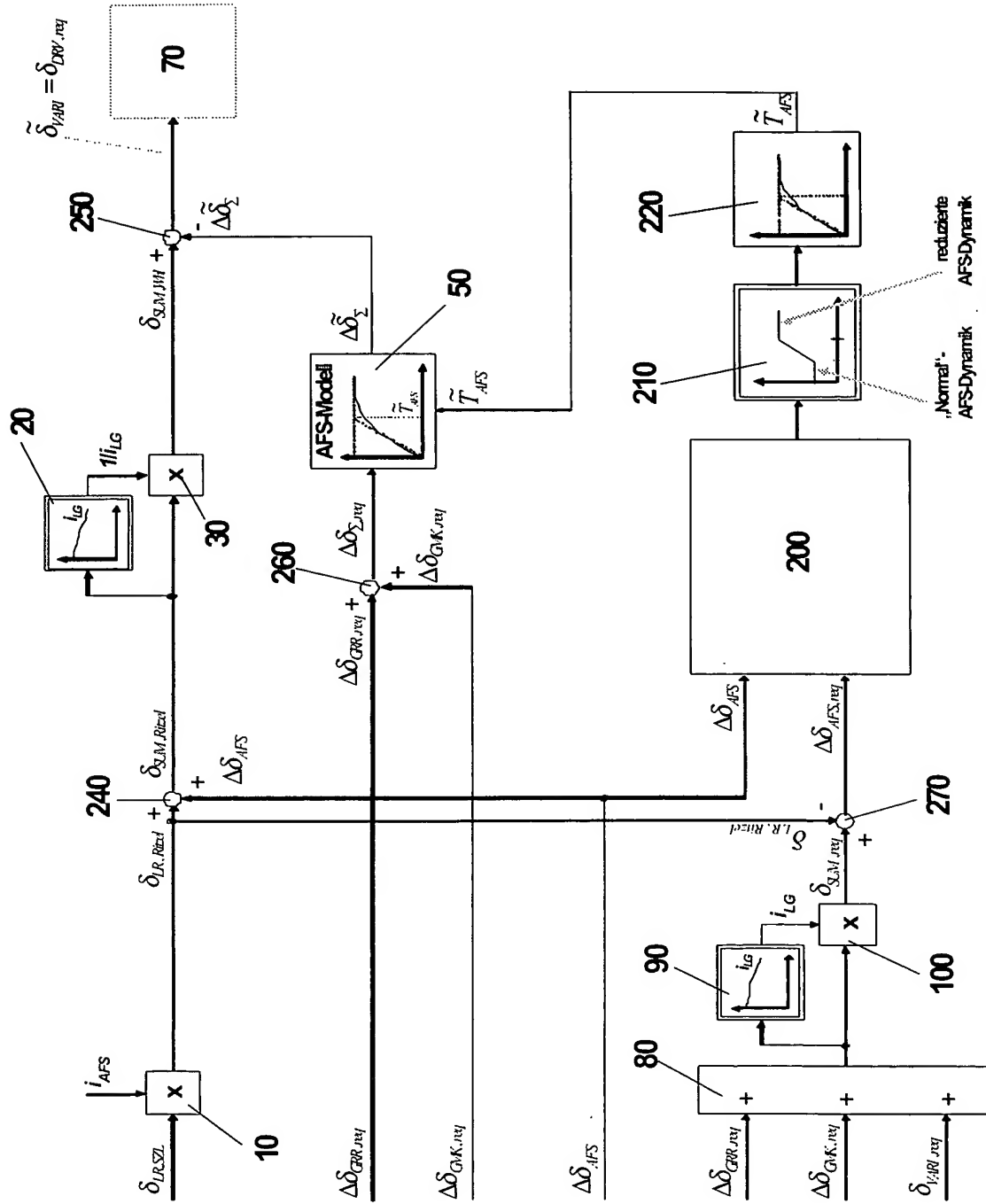


Fig. 5

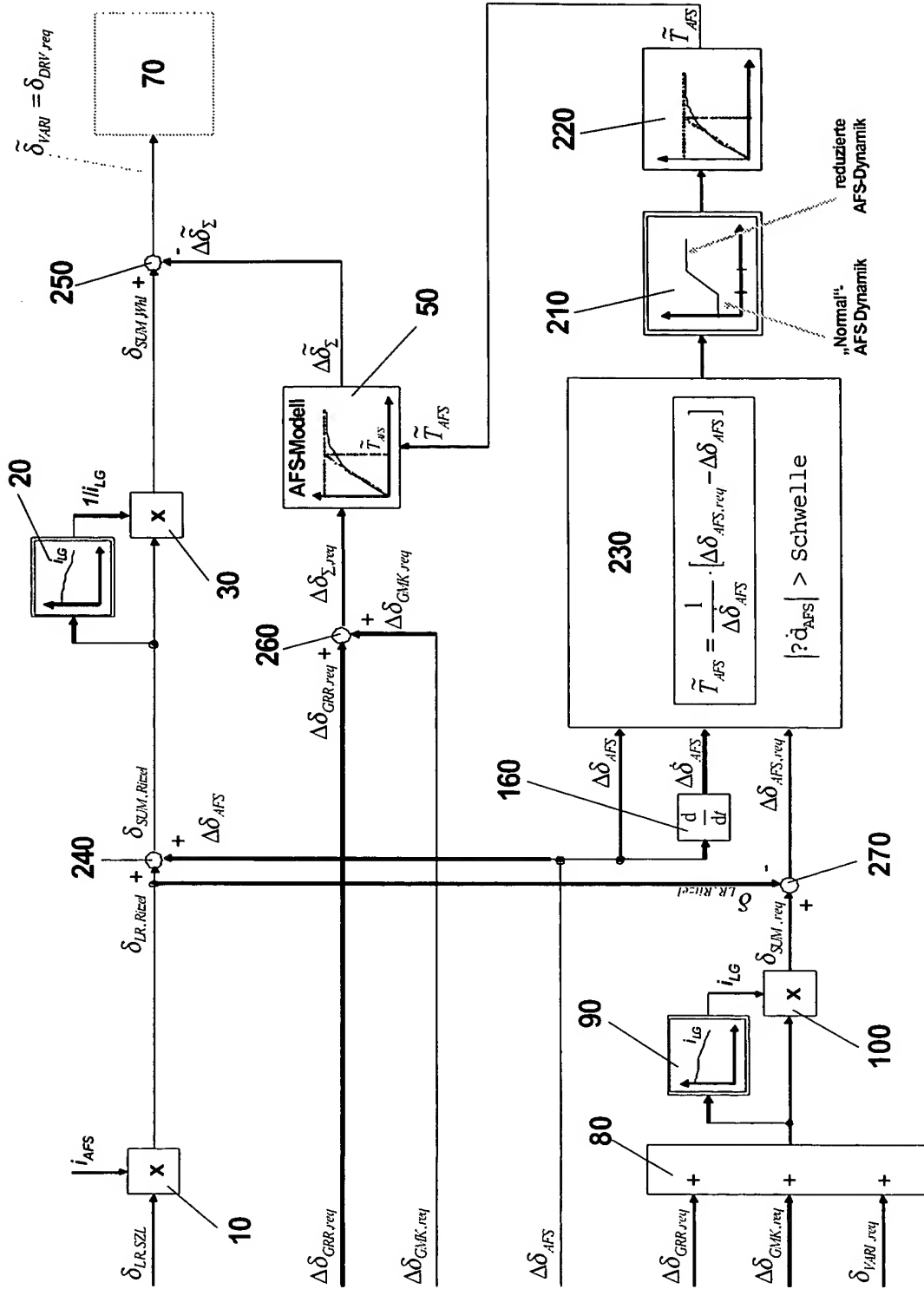


Fig. 6

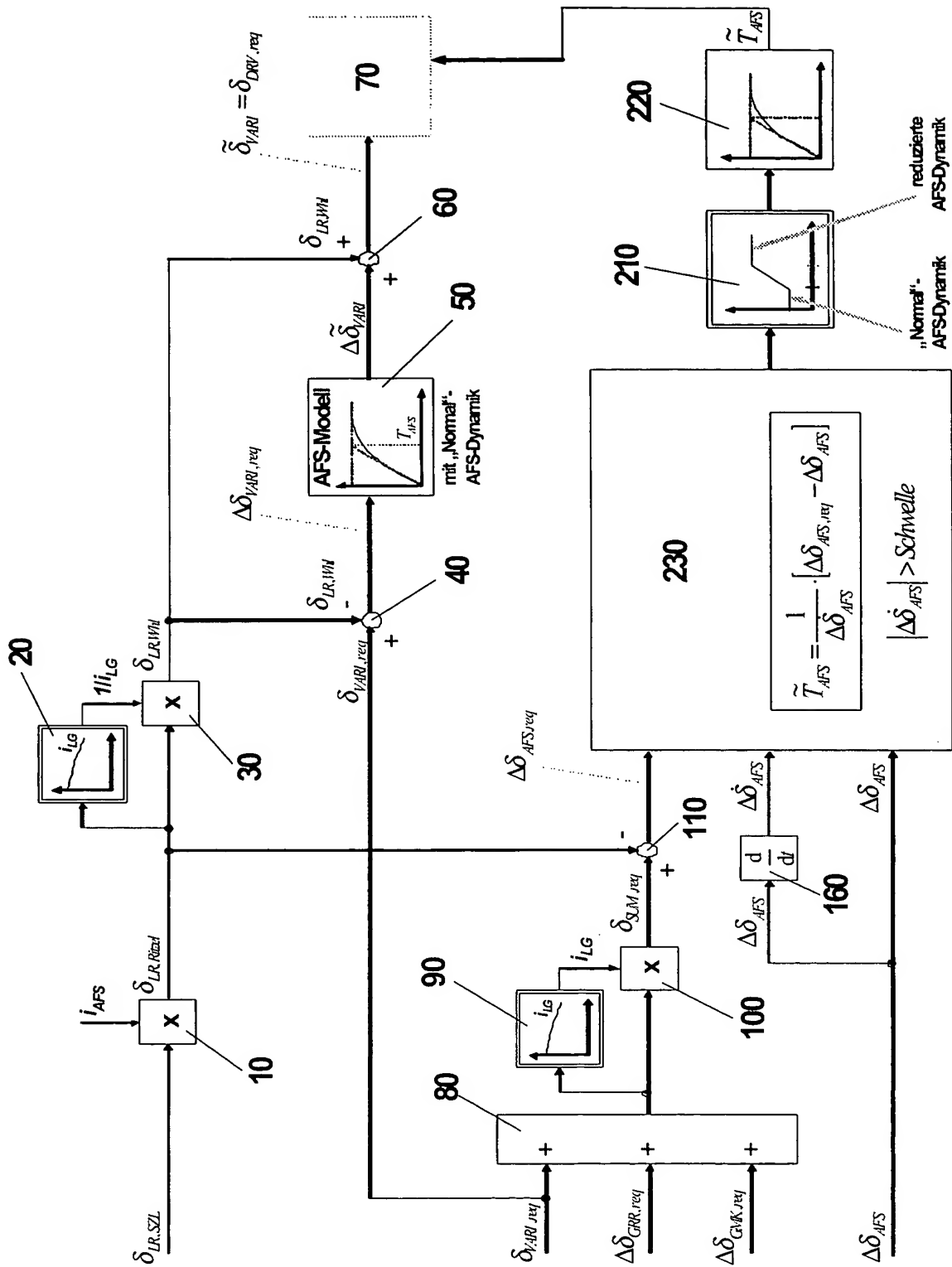


Fig. 7